- LES TURBINES HYDRAULIQUES -

par P. DEWAVRIN

JEUMONT-SCHNEIDER

Stage A S T E F

Session PRODUCTION

Les Turbines Hydrauliques

17 Octobre 1967

par P. DEWAVRIN

- LES TURBINES HYDRAULIQUES -

A/ - Types de turbines utilisées - Domaine d'application

L'Energie des chutes d'eau qui se présente sous deux formes, énergie cinétique $(\frac{V^2}{2g})$ et énergie potentielle $(\frac{p}{\gamma} + h)$ est transformée en énergie mécanique dans les turbines.

Celles qui utilisent le terme $(\frac{V^2}{2g})$ travaillent par action, elles sont à veine libre, ce sont les Pelton.

Celles qui utilisent le terme $(\frac{p}{\gamma} + h)$ travaillent par réaction ou détente, elles sont à veine forcée, ce sont les Francis, Hélice, Kaplan, Bulbe, Turbine Pompe.

Le tableau ci-dessous définit les classes et limites d'application actuelles, les limites définies ne sont pas des valeurs absolues, la notion de vitesse spécifique défini plus loin fixe celles-ci, d'autre part, les progrès réalisés tant sur la qualité des profils que des matériaux utilisés permettent de reculer ces limites pour chaque type.

On peut penser, en effet, que des turbines Francis travaillant sous 700 m. pourront un jour prochain être utilisées, de même des turbines Kaplan sous plus de 80 m.

D'autre part, il existe des zones de recouvrement qui permettent des équipements d'une chute donnée par l'un ou l'autre type. Le choix est alors influencé par différents paramètres que nous examinerons plus loin.

Classe	Réaction			Action
Système-mode d'écoulement	Axial		Axial radial	
	Kaplan	Hélice	Francis	Pelton
H^m	2-80 m	2-70	30-550 grosses unités 2-200 petites unités	300-1800 grosses unités 40-250 petites unités
Limites D^m	1-10 m	0,35-9	0,35 - 7 m	0,35 - 5 m
P^{kw}	250.000	150.000	500.000	300.000 (à jets multiples)

Pour les basses chutes jusqu'à 20 m, une amélioration des Kaplan a été rendue possible en rendant l'écoulement en amont et aval axial, Monsieur CARVOUNAS vous en parlera et je me défends d'effleurer le sujet.

La Turbine Pompe plus récente n'est autre qu'une roue de pompe aux canaux spécialement tracés et qui, fonctionnant en turbine, présente un rendement convenable.

Une seule machine permet donc de fonctionner en pompe et en turbine, le groupe est réversible. Ce type de machines est utilisé pour assurer dans les pays aux faibles réservoirs et à la forte production de base thermique et nucléaire, l'écrêtement des pointes de consommation, cas des Etats-Unis, de certains pays d'Europe.

B/ - Caractéristiques essentielles de chaque type

1) Vitesse spécifique -

Partant du principe que deux turbines semblables dont les écoulements sont en similitude cinématique (triangle des vitesses semblables) ont les mêmes performances et des facteurs caractérisant une turbine, débit Q, hauteur H, et vitesse N, on peut définir un certain nombre d'invariantes de similitude qui caractérise chaque machine.

Un premier élément est la vitesse d'une machine de diamètre 1 m placée sous une chute de 1 m.

$$n_{11} = \frac{ND}{\sqrt{H}}$$

Un deuxième élément est le débit d'une machine de diamètre 1 m, placée sous une chute de 1 m.

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2\sqrt{H}}$$

En éliminant la dimension D dans les relations ci-dessus on obtient la vitesse spécifique N_S en tr/mn

$$NS = \frac{N\sqrt{P}}{H\sqrt[4]{H}}$$

qui peut aussi s'écrire $N_S = 3{,}65\, n_{11}\sqrt{Q_{11}\eta}$ la vitesse spécifique est donc une expression dès lors de similitude.

.../...

Il semblerait donc que le N_S ne caractérise pas totalement une machine résultant de deux facteurs n_{11} et Q_{11} qu'il est possible de modifier l'un par rapport à l'autre pour obtenir la même valeur. Toutefois, des conditions complémentaires comme celles de cavitation imposent pratiquement des répartitions de Q_{11} et n_{11} qui permettent de dire que le N_S caractérise pratiquement bien la forme de l'écoulement et donc la turbine, c'est-à-dire des formes de l'aubage.

Précisons enfin qu'il existe un N_S pour chaque point de fonctionnement, on a l'habitude de caractériser le N_S au point de rendement maximal.

2) Rendements - Collines - Comparaison entre les différents types

A partir d'essais sur modèles réduits de différents N_S , on a pu établir les valeurs des rendements pour différents points de fonctionnement, celles-ci sont matérialisées sur une courbe du type utilisé en topographie d'où leur nom de courbe collines.

Chaque type de Turbine a une courbe caractéristique qui est importante car elle permet de choisir les dimensions à donner à une turbine sans doute, mais aussi à choisir le type dans le cas où il y a possibilité de le faire.

Certaines turbines sont en effet sensibles à la variation de débit et se prêtent mal à un réglage de la charge (voir courbe). La supériorité des turbines Kaplan et Pelton est, à ce sujet, caractéristique.

3) Cavitation -

Ce phénomène est constaté au sein de n'importe quel liquide en mouvement lorsque la pression s'abaisse localement jusqu'à une valeur correspondant à la tension de vapeur du liquide. Les bulles de vapeur qui prennent naissance se dilatent puis se résorbent brutalement en pénétrant dans les zones où la pression est plus élevée. Le phénomène s'accompagne de bruits et d'un abaisssement des performances (rendement - puissance) mais de plus à un martèlement de l'acier (des pressions locales importantes prenant naissance au point de destruction des bulles) qui provoque des dommages rapides des parties mécaniques accentuant le phénomène par des dépressions complémentaires découlant du fait de la rupture des profils.

Il est donc nécessaire d'éviter toute rupture brutale dans les écoulements et de maintenir à la sortie des roues des Francis et Kaplan un niveau de pression absolu, tel que l'on ne puisse atteindre la valeur correspondante à la formation de vapeur d'eau.

.../...

Le seuil de cavitation, valeur pour laquelle celle-ci prend naissance est caractérisé par le nombre σ encore égal à $\sigma = \frac{H_A - H_S}{H_n}$

H_A = pression atmosphérique à l'altitude d'installation

H_S = hauteur entre niveau aval et roue compté négativement ou positivement

H_n = hauteur nette

Des essais sur modèle, on déduit par observation et mesures des performances les valeurs du sigma à obtenir sur installation pour éviter la cavitation. La courbe donne cette valeur expérimentale. Cette valeur augmente avec la vitesse spécifique, elle dépend en effet beaucoup de l'énergie cinétique résiduel à la sortie de roue, valeur de $\frac{C_2^2}{2g}$ qui augmente avec la vitesse spécifique passant de 2 % de l'énergie pour un nS de 100 à 60 % pour un nS de 1100

Cette valeur de σ qui fixe l'enfoncement de la roue par rapport au niveau aval est fort importante et réagit sur les fouilles à entreprendre pour installer une machine, donc sur le prix de l'équipement.

4) Emballement -

Si on supprime brusquement le couple résistant de la machine et que le régulateur pour une raison accidentelle ne fonctionne pas pour ramener le couple moteur à la valeur équilibrant les pertes mécaniques de toute nature, la turbine atteint, après un temps fonction de l'inertie des pièces en rotation, une vitesse maximale dite vitesse d'emballement.

La vitesse atteinte dépend du type de turbine, elle est de 1,7 à 1,9 fois la vitesse nominale pour les Pelton et Francis, peut aller jusqu'à 3 fois la vitesse pour les Kaplan en cas de déconjugaison (asservissement entre position des pales de roue et du distributeur). Pour ces machines, la vitesse d'emballement dépend fortement de l'ouverture des pales. Les vitesses maximales atteintes sont importantes à connaître pour le calcul mécanique des pièces en rotation soumises à des efforts centrifuges croissants, pour les paliers et pivots (échauffement de l'huile).

5) Poussée hydraulique

La masse d'eau déviée dans la roue qui exerce une poussée, les pressions qui exercent par ailleurs des poussées statiques sur les parties extérieures des roues, le poids propre des parties mobil dans le cas de machines verticales, ont une résultante dirigée vers l'aval qu'il faut reprendre par un pivot-butée.

Bien qu'équilibrée par certaines dispositions telles que tuyau d'équilibrage, il en subsiste toujours une partie.

La courbe (5.859.995) donne le coefficient K expérimental qui permet de calculer cette poussée résiduelle maximale. Pour les Kaplan, la poussée varie avec l'angle d'ouverture des pales, elle est minimale pales grandes ouvertes; il est intéressant, à ce sujet, de démarrer pales ouvertes de manière à décharger au maximum la pivoterie.

C/ DETERMINATION de la VITESSE

a) Limites imposées par la machine électrique

La fréquence du réseau impose tout d'abord des vitesses bien déterminées, fonction de l'expression $N = \frac{60\ f}{p}$

p = nombre de paires de pôles inducteurs)

f = fréquence du réseau

- Certaines vitesses se prêtent par ailleurs mal à la construction du bobinage

- Les alternateurs à la vitesse de 1500 et 3000 tr/mn pour le réseau à 50 Hz réclament une construction particulière onéreuse pour les grandes puissances. Dans ce cas, la vitesse de 750 tr/mn et 1000 tr/mn sont des limites.

  Problèmes de vibrations à grande vitesse.

b) Limites imposées par le rendement

Certaines vitesses spécifiques ont des rendements plus faibles, il faut donc les éliminer (voir courbe).

c) Limites imposées par la cavitation

Le croissant avec la vitesse spécifique, une augmentation de celle-ci peut conduire à un enfoncement de la roue prohibitif bien que les méthodes modernes de terrassement permettent de minimiser le prix des fouilles. La nature du sol à l'emplacement de l'usine, la place de celle-ci par rapport à l'aménagement général peut imposer à la limite une vitesse spécifique donnée.

.../...

d) Limites imposées par les dimensions

Compte tenu des matériaux actuellement sur le marché, des possibilités de moulage de certaines pièces, d'assemblage, de transport, etc... il existe des limites au tonnage ou aux dimensions. Celles-ci tendent de plus en plus à reculer grâce aux progrès réalisés dans l'élaboration des métaux, les techniques d'assemblage, les contrôles non destructifs. La fabrication de roues en mécano-soudure a permis à ce titre un progrès sensible.

e) Influence de la vitesse sur le poids, les dimensions, le prix de revient

En augmentant le N_S, c'est-à-dire pour une puissance et une hauteur données en augmentant la vitesse de rotation, on diminue les dimensions, diamètre de la roue en particulier et en conséquence, le poids de la machine et son prix de revient.

On diminue parallèlement les dimensions, poids et prix de revient de la machine électrique, la recherche de la vitesse de rotation la plus élevée possible est donc source d'économie.

Statiquement, le poids de chacune des machines qui constituent le groupe est une fonction de $(\underline{P})$ matérialisant le couple, pour les turbines plus particulièrement, le poids est fonction de $(\underline{P})^{0,80}$. Si on veut l'exprimer en fonction du diamètre on a $\text{Poids} = \rho k D^{2,5}$

On sait qu'une vitesse spécifique élevée correspond à des D plus faibles.

La main d'oeuvre par contre obéit pratiquement à la loi $D^{1,5}$. Le prix de revient, somme du prix de la matière et de la main d'oeuvre, diminue avec D, donc avec N (vitesse), d'où la recherche de vitesses toujours plus élevées pour des caractéristiques P et H données.

D/ Choix du nombre de groupes, de la puissance unitaire, du type de turbine - Disposition des groupes

Lorsque le débit d'armement a été fixé, la chute nette déterminée, compte tenu des ouvrages d'amenée, on a le choix dans le nombre de groupes à prévoir, voire le type de machines à retenir lorsque les conditions correspondent à une zone balayée par deux types différents.

.../...

Statiquement, il en est fait beaucoup mention mais la construction hydraulique s'appuie fortement sur l'expérience, pour des débits d'équipements compris entre 200 et 1200 m3, le nombre de groupes est compris entre 3 et 6.

En réalité, il faut chaque fois examiner soigneusement toutes les solutions possibles, les chiffrer et compte tenu des frais d'investissement, des charges d'exploitation, du coût de l'argent définir la solution la plus économique.

Pour les très grosses installations, on est limité par la puissance unitaire de moins en moins d'ailleurs pour les raisons exposées ci-dessus.

L'augmentation des puissances unitaires conduit à une diminution du prix et du poids spécifiques, à unité de puissance une petite machine pèse plus lourd qu'une grosse machine.

Toutefois, l'exploitant peut avoir des raisons de fractionner pour

- accroître la sécurité
- améliorer le rendement général en faisant varier le nombre de groupes en service et répartir la charge de manière à faire travailler les turbines au voisinage de leur régime de marche à rendement maximal

Dans les zones où deux types de machine peuvent être utilisés, recouvrement Pelton Francis, Kaplan Francis - le problème se pose du choix du type. A cet égard, il est intéressant de choisir la Francis ou la Kaplan qui tournent plus vite et sont moins chères mais on tiendra compte de tous les facteurs qui interviennent.

- Enfoncement de la roue
- Place du rendement maximal - allure de la courbe de rendement en fonction de la charge si celle-ci est appelée à varier
- Vitesse d'emballement
- Usure des machines en particulier s'il y a du sable

A ce sujet, une Pelton est plus simple qu'une Francis mais son rendement maximal est moins élevé et on perd quelques mètres de chute, la roue devant être dénoyée.

.../...

La disposition des groupes intervient également dans les données du problème. La disposition verticale est mieux adaptée aux fortes puissances, encombrement plus réduit, poids des parties fixes réduit du fait que le béton participe à la résistance des pièces fixes telles que bâche.

La disposition horizontale réservée aux Pelton 1 ou 2 jets, à certaines Francis et même Kaplan s'applique aux machines rapides et pour les puissances plus faibles en ce qui concerne les machines à réaction au-dessus d'un diamètre de roue supérieur à 1,8 m, cette disposition est peu adaptée aux problèmes de démontage.

Pour les groupes verticaux, Francis - Kaplan, trois dispositions principales sont prévues au point de vue démontage.

a) Démontage au travers de l'alternateur inconvénient il faut ôter le rotor et le pivot, s'applique surtout aux grosses machines lentes, la majorité des grosses centrales modernes sont de ce type.

b) Démontage à l'étage intermédiaire. Cette disposition augmente la hauteur du groupe, nécessite de forts engins de levage à cet étage, s'applique aux machines rapides (hautes chutes).

c) Démontage par dessous

L'accès à la roue, aux blindages est rapide et facilite l'entretien des parties à usure plus rapide, mais augmente les fouilles et certaines parties doivent de toute façon être démontées par le haut.

Groupes verticaux ne dépassent pas 750 tr/mn.
à 1000 et 1500 tr/mn - Groupes horizontaux (fatigue - vitesse critique)

E/ - TECHNOLOGIE GENERALE

Compte tenu des facteurs agressifs de détérioration, cavitation, abrasion, corrosion, fatigue, le choix de l'acier de la roue, des pointeaux et buses, a une grande importance.

Actuellement, l'acier au chrome de nuance 13 % Cr qui résiste bien à ces 3 facteurs est fortement employé, les aciers à 17 % Cr et 4 % Ni présentent par rapport à ceux-ci une meilleure résistance mécanique et de cavitation et sont de surcroît plus aisément soudables mais sont plus chers. On fonde de grands espoirs sur les 13 % de Cr bas carbone qui se soudent mieux que les 13 % de Cr normaux.

.../...

Pour les parties sujettes à une usure rapide par abrasion (pointeaux, buses, labyrinthes) le chromage dur d'acier normaux donne d'excellents résultats.

Le bronze d'aluminium pour sa résistance intéressante à la cavitation est employé pour des chutes ne dépassant pas 300 à 400 m et des puissances faibles, car sa résistance mécanique est inférieure à celle des inoxydables.

Pour l'eau de mer les 17/4 - 18/8 et bronze d'aluminium dans certains cas conviennent bien.

On peut également utiliser des roues à ossature en acier au carbone plaqué d'acier inoxydable 18/8 aux endroits soumis à la cavitation. C'est une excellente solution qui permet d'avoir de bonnes qualités mécaniques et une résistance là où elle est seulement nécessaire. Les techniques de placage sont maintenant bien au point.

Pour les autres parties, l'acier au carbone soudé à remplacer progressivement les aciers moulés, les bâches sont dans certains cas (dimensions importantes) en acier à haute limite élastique soudable avec préchauffage. On réalise de cette manière l'avant-distributeur et les viroles, le tout étant bien souvent soudé sur place après constitution d'éléments partiels transportables

Les directrices sont en soudé, en acier coulé de nuance au carbone et dans certains cas de hautes chutes en acier inoxydable. Les tourillons sont souvent chromés et les paliers correspondants autolubrifiants.

Les blindages et manteaux de roue sont en acier inoxydable ou en acier au carbone chromé.

La construction soudée a permis de gros progrès dans la construction des roues, plafond, aubes et ceinture sont fabriqués séparément et assemblés par soudure. Cette construction est responsable des progrès réalisés dans l'obtention de puissance unitaire importante.

Certains organes comme le joint d'étanchéité, le palier ont été perfectionné tant du point de vue accessibilité que refroidissement, de manière à pouvoir se passer d'organes accessoires autrefois nécessaires (refroidissement à eau, réfrigérants annexes).

.../...

F/ - MAINTENANCE et ENTRETIEN

Entretenir consiste à remplacer les pièces usées, une telle forme se révèle à l'usage onéreuse, il faut disposer en effet de pièces de rechanges qui immobilisent un capital et les temps d'arrêt pour le remplacement peuvent peser lourd dans le manque à gagner. On a donc de plus en plus insister sur la maintenance ou entretien systématique préventif.

Dans certains cas par exemple, l'application des traitements particuliers onéreux est un facteur de rentabilité à l'usage. Il faut cependant, pour pallier tous incidents imprévus, concevoir les pièces en vue d'un démontage aisé, d'où l'emploi de détails particuliers visant à faciliter l'entretien de pièces qui de toute façon semble varier de par leur condition de travail à une usure systématique en dehors des conceptions particulières visant à éliminer certains travaux courants d'entretien tels que graissage d'articulations, de roulements, etc...

Cette recherche est poussée à un degré élevé, on en arrive à concevoir les assemblages par boulons accessibles à des clés pneumatiques pour accélérer les opérations, on monte des détecteurs d'usure sur les joints, des contrôleurs d'usure des labyrinthes, des batardeaux d'isolement du joint permettant de changer ce dernier sans batardage de la machine.

L'accessibilité de la roue par l'aspirateur répond à ce souci d'intervention rapide.

G/ - Régulation - MD^2 - Survitesse - Surpression - Démarrages Protections

L'équation fondamentale de la mécanique

$$I\frac{d\omega}{dt} = Cm - Cr$$ dans laquelle

I = moment d'inertie des masses en rotation = $\frac{MD^2}{4}$

ω = vitesse

Cm = couple moteur

Cr = couple résistant

montre qu'un écart de charge résistante provoque un écart de vitesse si un organe n'intervient pas pour adapter la puissance produite ou son couple Cm à celle demandée.

.../...

Le premier rôle du régulateur est donc de maintenir la vitesse constante (tolérances des écarts faibles admissibles), c'est-à-dire la fréquence. Il doit en outre, dans le cas extrême d'une décharge totale voire partielle importante limiter à une valeur admissible l'écart de vitesse qui en découle. Il doit être prompt à intervenir sur les organes de réglage de la turbine (vannage - pales) et stable.

Si on représente sur un graphique Cm et Cr en fonction de N pour la turbine et l'alternateur, on a les courbes suivantes établies pour différents débits Q et charge représentée par R, l'intersection définit une droite de régulation qu'on peut concevoir parallèle à l'axe des couples, la vitesse est constante ou inclinée, la vitesse est modifiée en fonction de la charge, augmente avec elle ou diminue. De ces trois dispositifs, il semble qu'il faille adopter le premier, en réalité des questions de stabilité et d'oscillations imposent une caractéristique statique introduisant un écart de réglage qu'il faut par la suite compenser, ceci par un asservissement. A elle seule cette question mérite un chapitre, voire un livre et le cadre de cet exposé ne permet pas de l'aborder.

Signalons qu'aux régulateurs mécaniques très perfectionné qui sont exécutés actuellement se substituent progressivement des régulateurs électriques aux performances plus élevées, capable par surcroît d'être attaquées par des signaux multiples et variés permettant d'affiner ses caractéristiques et de le rendre sensible à tel ou tel paramètre important, en particulier de réglage secondaire dans les réseaux interconnectés.

Outre le réglage des faibles écarts, le régulateur est également conçu pour intervenir pour les grands écarts à caractère pratiquement accidentel, et il faut, à ce sujet, parler des surpressions et survitesses qui sont importantes à connaître et interviennent dans le calcul du MD^2, des conduites, des pièces en rotation.

Le MD^2 intervient dans l'écart de vitesse en cas de décharge totale et aussi dans la stabilité du réglage pour les faibles écarts.

Pour les faibles écarts, le MD^2 doit être tel que

$$t\ p > K\ \Theta^2$$

t constante d'inertie ou temps de lancer = $\dfrac{MD^2 \text{ kgm}^2 \quad N^2 \text{ tr/mn}}{365\,000 \quad P \text{ kW}}$

p promptitude de réglage

Θ temps caractéristique de l'inertie hydraulique = $\dfrac{\Sigma LV}{gH}$

.../...

En cas de gros écarts se produit :

a) une survitesse ΔN fonction de T

b) une surpression ΔH qui varie en fonction inverse de T

T (temps de fermeture du vannage)

On est donc tenter naturellement d'augmenter T pour réduire ΔH dont il faut tenir compte dans les calculs mécaniques des conduites forcées, mais du même coup on augmente ΔN pour un MD^2 donné.

Or il n'est pas souhaitable d'augmenter le MD^2 d'une machine, car on augmente son poids et son prix au-delà d'une certaine valeur au-dessus de la valeur naturelle découlant d'un dimensionnement normal de la machine électrique.

C'est la raison pour laquelle si les calculs conduisent à des MD^2 trop élevés, on prend d'autres mesures tel qu'orifice déchargeur synchrone pour les machines Francis.

A titre d'information, on obtient avec une bonne approximation les valeurs de ΔH et ΔN en utilisant les formules suivantes :

$$\Delta N \quad L_n \left(1 - \frac{\Delta N}{b}\right) = -\frac{T}{2\theta b}$$

avec $b = \frac{\text{N emballement}}{\text{N normale}}$

$$\Delta H = \frac{\frac{\Theta}{T}}{1 - \frac{\Theta}{2T}} \quad \text{si } \varphi \geq 1 \text{ avec } \Theta = \frac{\Sigma LV}{gh}$$

$$\varphi = \frac{\Theta}{\nu} = \frac{aV}{2gH}$$

$$\Delta H = \frac{\frac{\Theta}{T}}{\frac{1+\varphi}{2} - \frac{\Theta}{2T}} \quad \text{si } \varphi < 1$$

Les valeurs normales admises pour ΔH sont 25 à 30 % et pour ΔN 30 à 50 %

.../...

DEMARRAGE - PROTECTION

Le démarrage des turbines s'opère après ouverture du robinet de garde, mise en pression de l'huile, déblocage du régulateur. Des sécurités contrôlent les manoeuvres et assurent la séquence, on ouvre légèrement la turbine pour la lancer puis on la referme pour éviter une mise en vitesse trop rapide.

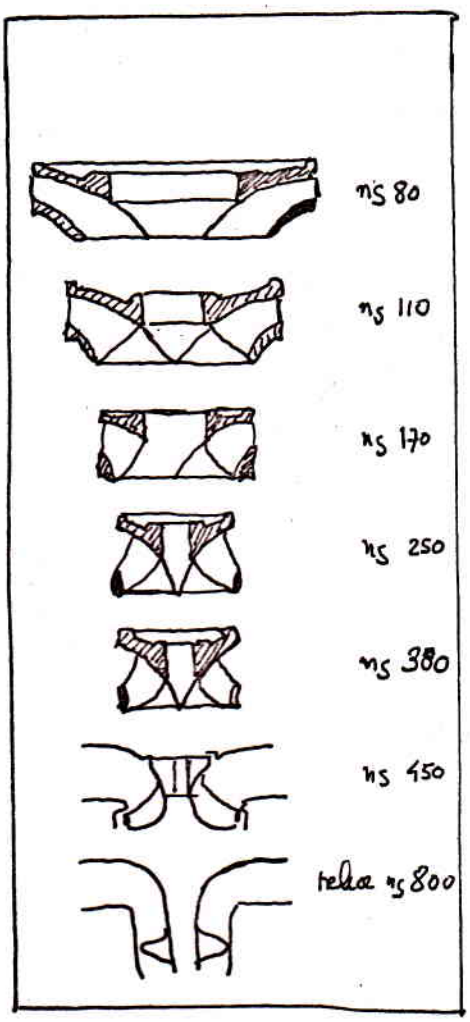
Pour les Kaplan, on démarre avec pales ouvertes de façon à limiter la poussée hydraulique ou démarrage, on referme les pales après démarrage.

Les sécurités doivent être basées sur l'emploi d'organes qui emmagasinent à l'ouverture l'énergie nécessaire à la fermeture (contre-poids, ressort, accumulateur eau-huile).

Les protections comportent généralement :

- 1 dispositif de survitesse à deux fonctions électrique et hydraulique
- 1 dispositif d'arrêt d'urgence
- 1 détecteur baisse pression d'huile
- 1 détecteur niveau bas accumulateur
- 1 détecteur échauffement paliers et pivot - alarme et déclenchement
- 1 détecteur manque eau réfrigération régulateur si celle-ci existe

Le déclenchement échauffement paliers et pivot doit provoquer l'arrêt avec disjonction retardée pour éviter les survitesses.

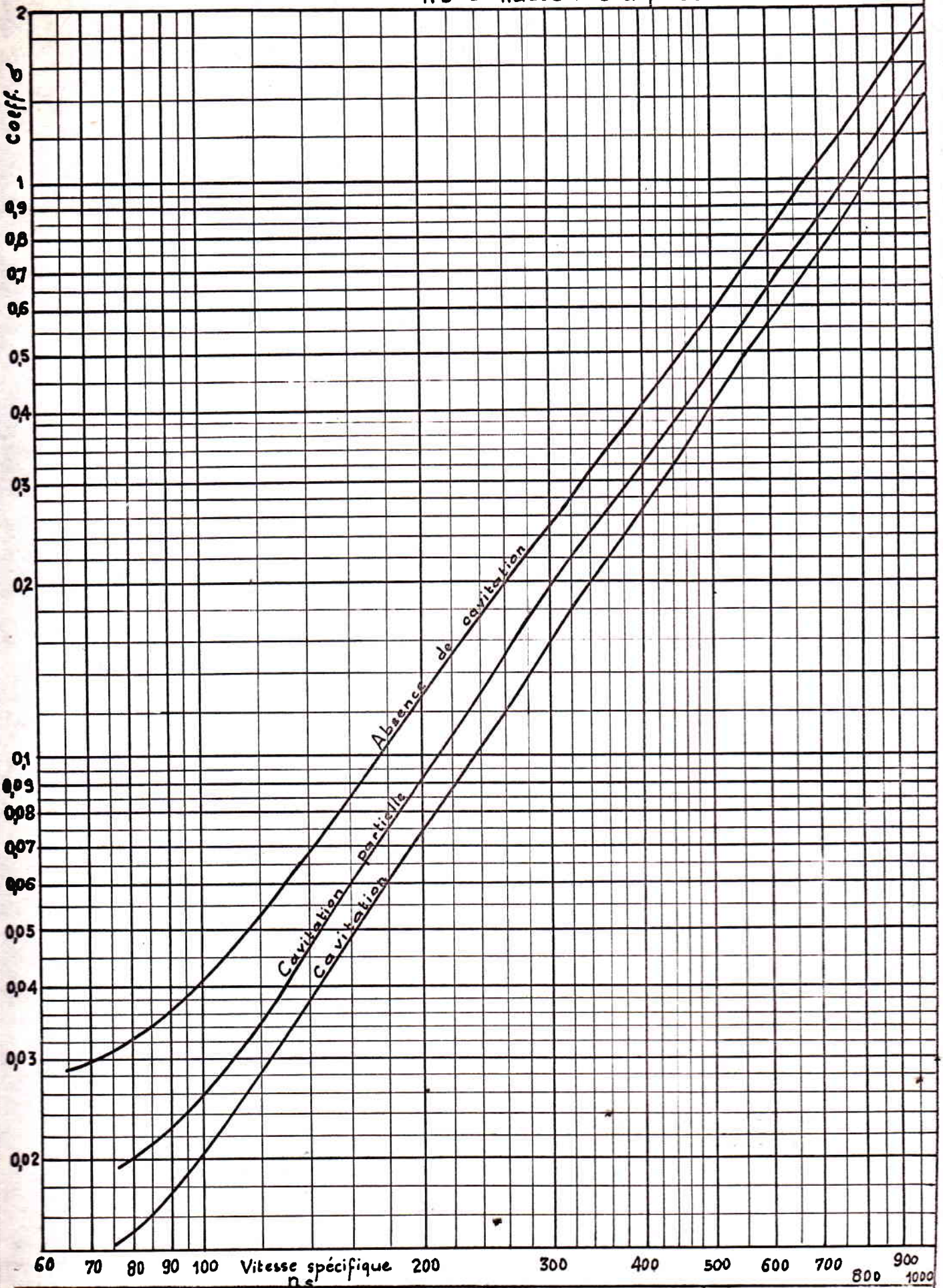


Les croquis faits à l'échelle montrent la diminution de la dimension D quand le n_s croît.

Echelle		Evolution de la forme des roues en fonction du N_s	JEUMONT-SCHNEIDER
Dessiné			5859993
Vérifié			
Date			

$$\sigma = \frac{Hb - Hs}{Hn}$$

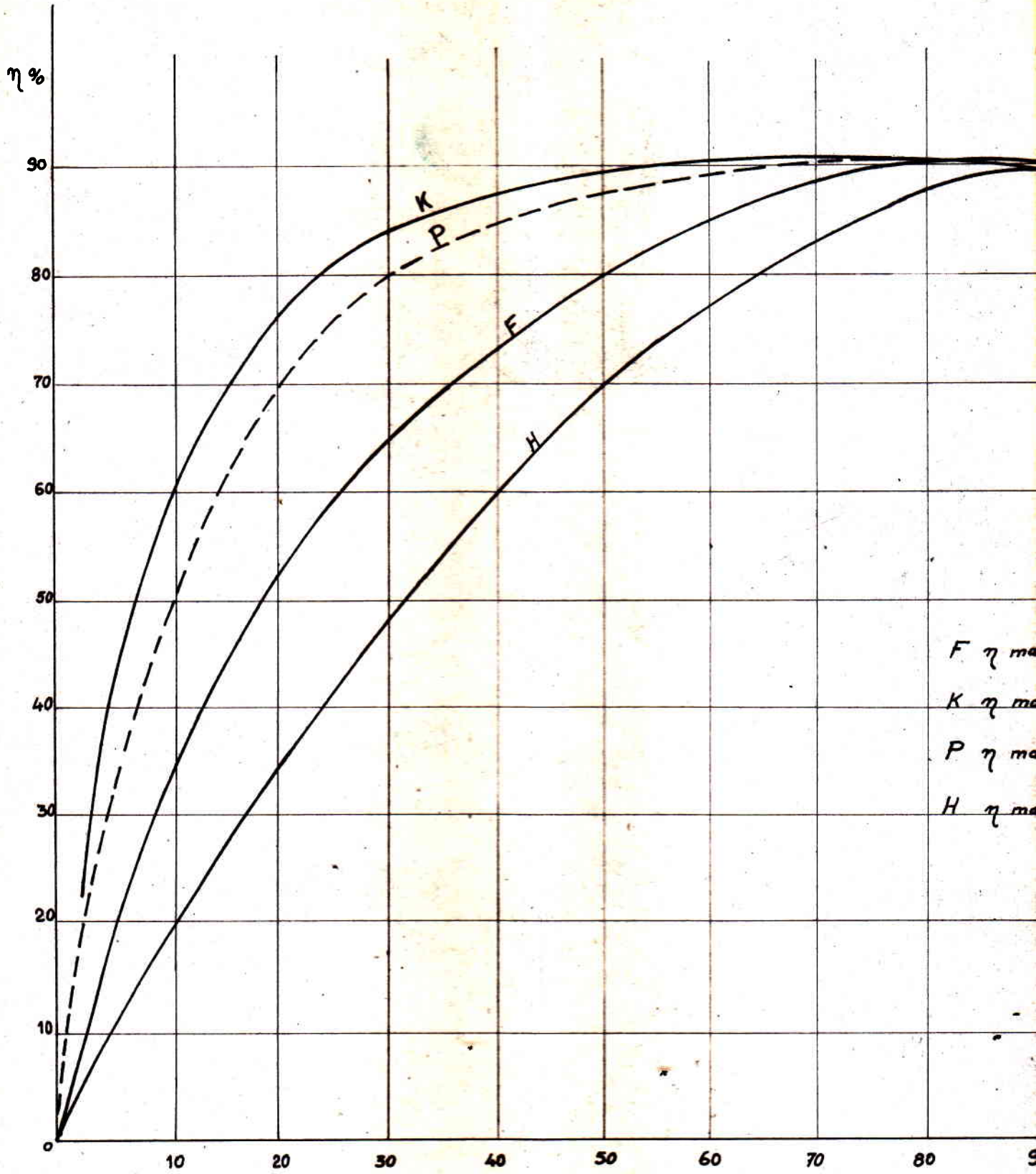
Hn = Chutte nette
Hb = Pression atmosphérique
Hs = Hauteur d'aspiration



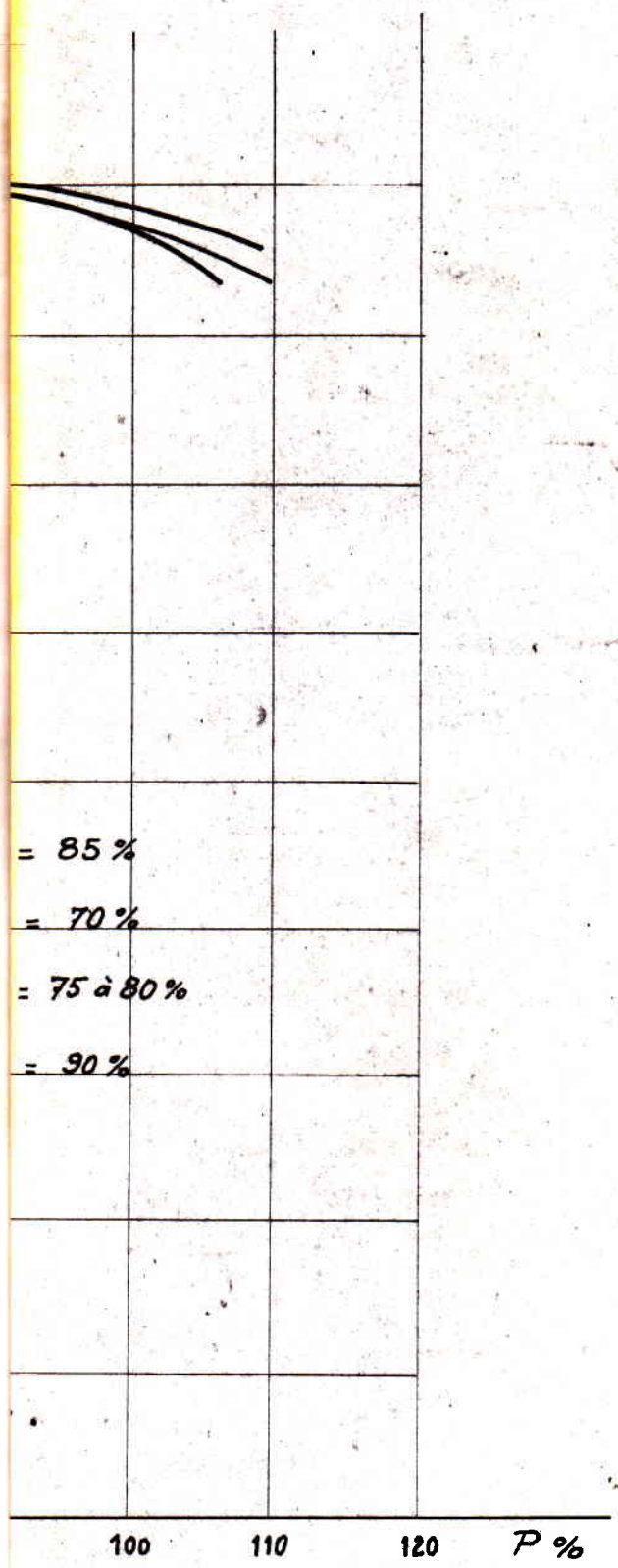
Echelle		
Dessiné		
Vérifié		

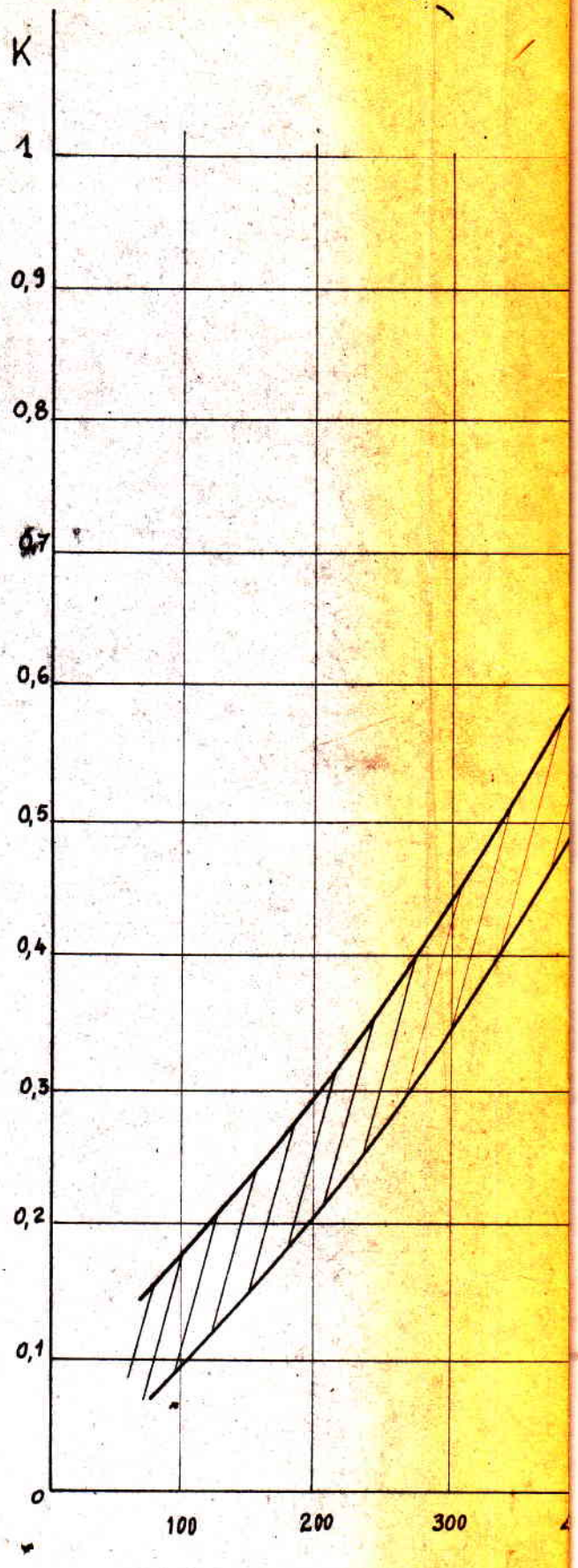
JEUMONT-SCHNEIDER

5859 994

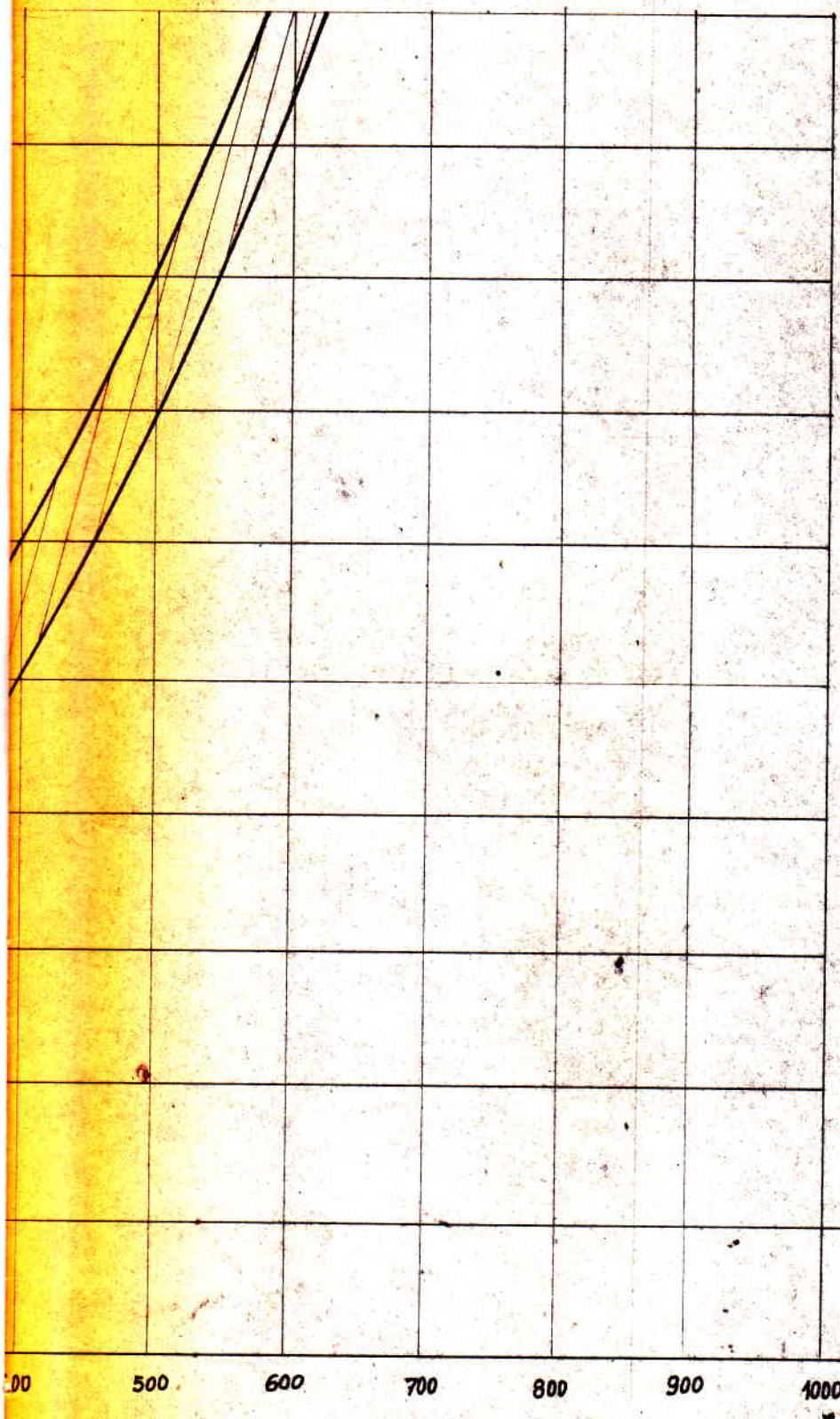


$\eta = f(P)$ pour différents types de turbin





Poussée axiale



$$P = K \frac{\pi}{4} D_2^2 H$$

D_2 = Diamètre de sortie

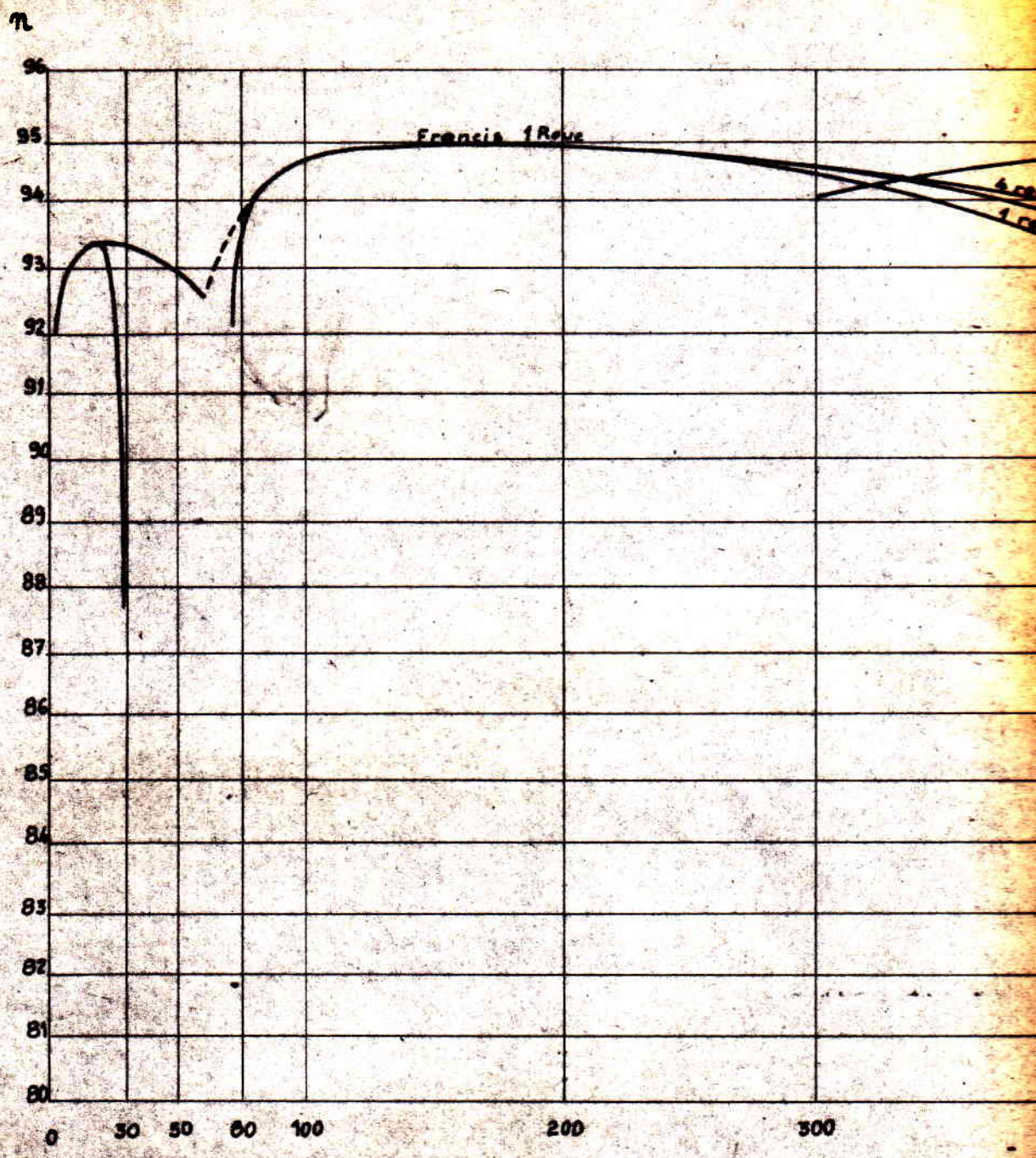
H = m

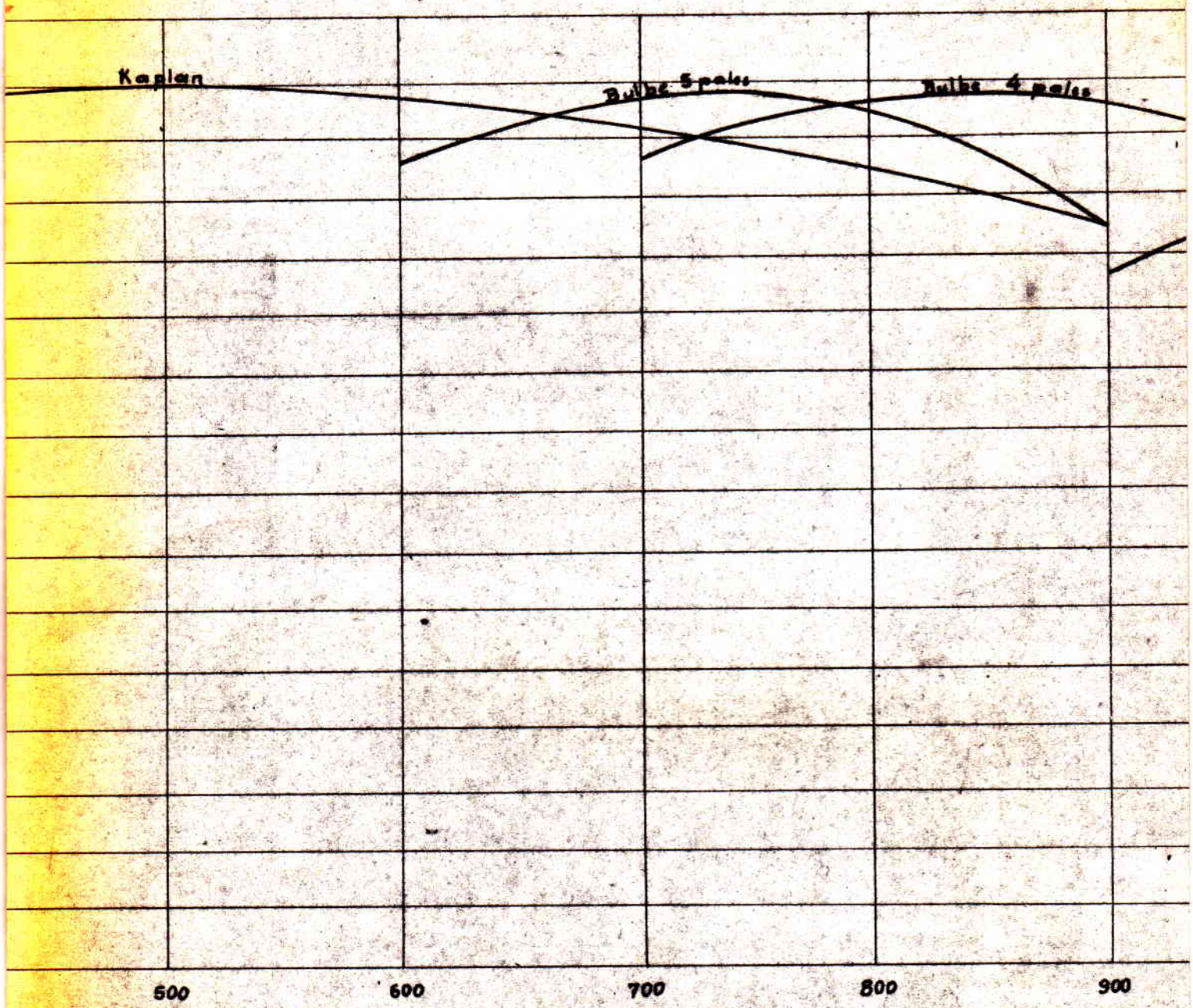
P = t ou 10.00 daN

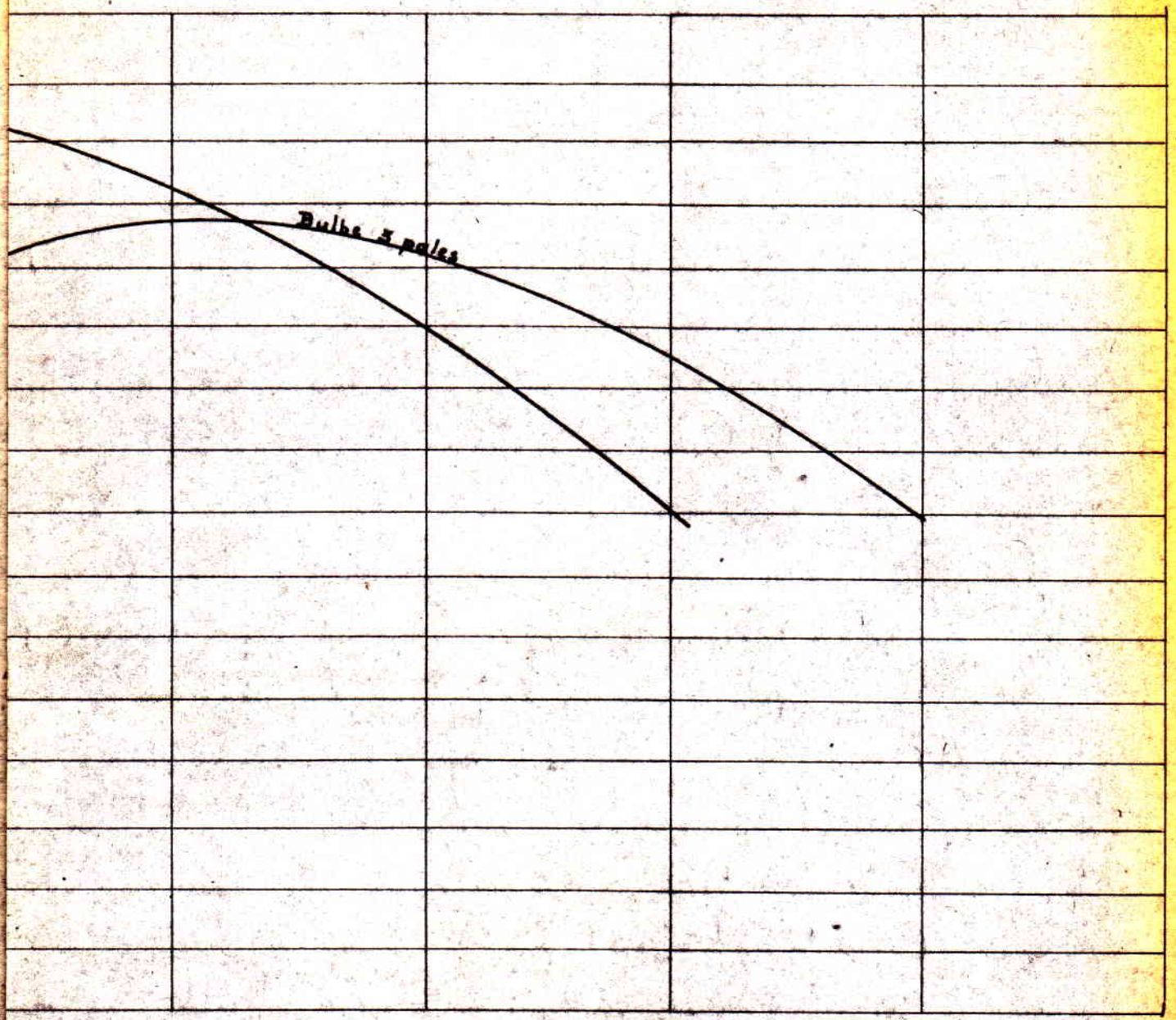
Echelle	
Dessiné	
Vérifié	
Date	

JEUMONT-SCHNEIDER

5859995


η
96
95
94
93
92
91
90
89
88
87
86
85
84
83
82
81
80
Francis 1 Roue
0
30
50
60
100
200
300


Kaplan
Bulbe 5 poles
Bulbe 4 poles
500
600
700
800
900



Echelle	
Dessiné	
Vérifié	
Date	

Rendement hydraulique en fonction du Ns

JEUMONT-SCHNEIDER

5859996